长江三角洲北岸土体工程地质层组划分及其应用

苟富刚[1,2)],龚绪龙[1,2)],梅芹芹[1,2)]

1)江苏省地质调查研究院,南京,210049;2)国土资源部地裂缝地质灾害重点试验室,南京,210049

内容提要:鉴于研究区工程地质层划分标准尚不统一,不利于工程地质资料的交流和资料的社会化利用。为提高研究区工程地质资料的通用性,结合研究区11个1∶50000标准图幅工程地质调查工作,以100m以浅的土体为工程地质层组划分对象,考虑沉积时代、沉积环境、土体结构特征和物理力学参数,建立研究区基本地层结构层序和编码,将研究区土体划分为7个工程地质层组和21个工程地质层。通过工程地质层组的建立,找出了大区域工程钻孔土层的对应关系,使区域地层资料对比分析成为可能,有助于地质模型的概化和抓住工程地质问题。采用物理力学参数离散性、绘制的地质剖面和三维型分析了工程地质层组划分的合理性,证实了层组划分结果合理正确。通过工程地质层组划分,找出了2个软弱敏感层和4个优势持力层。本文的成果对长江北岸三角洲地区的工程勘察、城市规划和建设项目选址论证具有一定的指导意义。

关键词:土体工程地质层组;区域工程地质;沉积演化;软弱敏感层;持力优势层

土体工程地质层组划分是土体质量评价的基础(李晓昭等,2004;侯晓亮等,2011;闫怀瑞等,2015)。目前,对于岩体层组划分的方法较为成熟,但对于土体层组划分目前还没有统一标准。特别是大范围工程地质调查和勘探时,土层和土体类型多变,涉及一个土体工程地质层组的概化问题(严学新等,2006)。研究区涉及11个1∶5万标准图幅,面积约4600 km^2,区内不同单元之间和不同工程项目之间的工程地质层划分标准尚不统一,不利于工程地质资料的交流和资料的社会化利用。为提高研究区工程地质资料的通用性,整合不同勘察单位、不同建设类型的工程地质资料,建立研究区工程地质资料数据库,对南通地区地基土层的划分标准进行统一是十分必要的。据现有收集的资料,一般多层建筑的工程勘察的勘探深度在20 m左右,且勘探孔也较少。随着南通规划区现代化进程的不断加快,高层建筑、大跨度建筑、高架桥等如雨后春笋不断涌现,现代工程涉及的地层越来越深,如苏通大桥工程涉及地层埋深达120 m,最大勘察深度为329.19 m,形成了世界上最大规模的灌注桩群(蒋建平等,2002;邓友生等,2008);现有的工程勘察资料已有一定的积累,本文结合长江三角洲北岸的11个图幅的工程地质填图工作,布置工程孔158个,孔深50~100 m;搜集高质量工程孔540个(图1),对研究区100 m以浅的工程地质层进行系统研究,给出研究区工程地质土层层序,找出与工程建设息息相关的持力优势层和软弱敏感层。持力优势层为承载力相对来说高,且厚度分布稳定的地层(罗国煜,1992,1993;汪明武等,2000;刘军熙等,2005)。持力优势层根据深度可分为浅部天然地基持力层(GB 50007-2011)、桩基持力层。软弱敏感层为力学性质差和厚度分布稳定的土层。软弱敏感层对基础稳定性和变形均起着控制性作用(JGJ94- 2008)。因此,有必要对持力优势层和软弱敏感层的工程地质特性进行重点分析。

1 土体工程地质层组划分的方法

1.1 划分依据

土体工程地质层组划分主要考虑4个方面的内容:①土体沉积时代,土层沉积演化规律;②土体成因类型,反应了土体形成时的沉积环境;③土体的沉积结构;④土体的物理力学性质。物理指标包括:粒

注:本文为中国地质调查局项目"江苏沿海经济区地质环境调查评价"(编号:1212011220005)和江苏省人民政府项目"江苏沿海地区综合地质调查"资助的成果。

收稿日期:2017-03-27;改回日期:2017-12-06;责任编辑:章雨旭。Doi:10.16509/j.georeview.2018.01.018

作者简介:苟富刚,男,1985年生,硕士,工程师,主要从区域工程地质的研究工作。通讯地址:210049,南京市栖霞区百水桥99号。Email:gfggfg@foxmail.com。

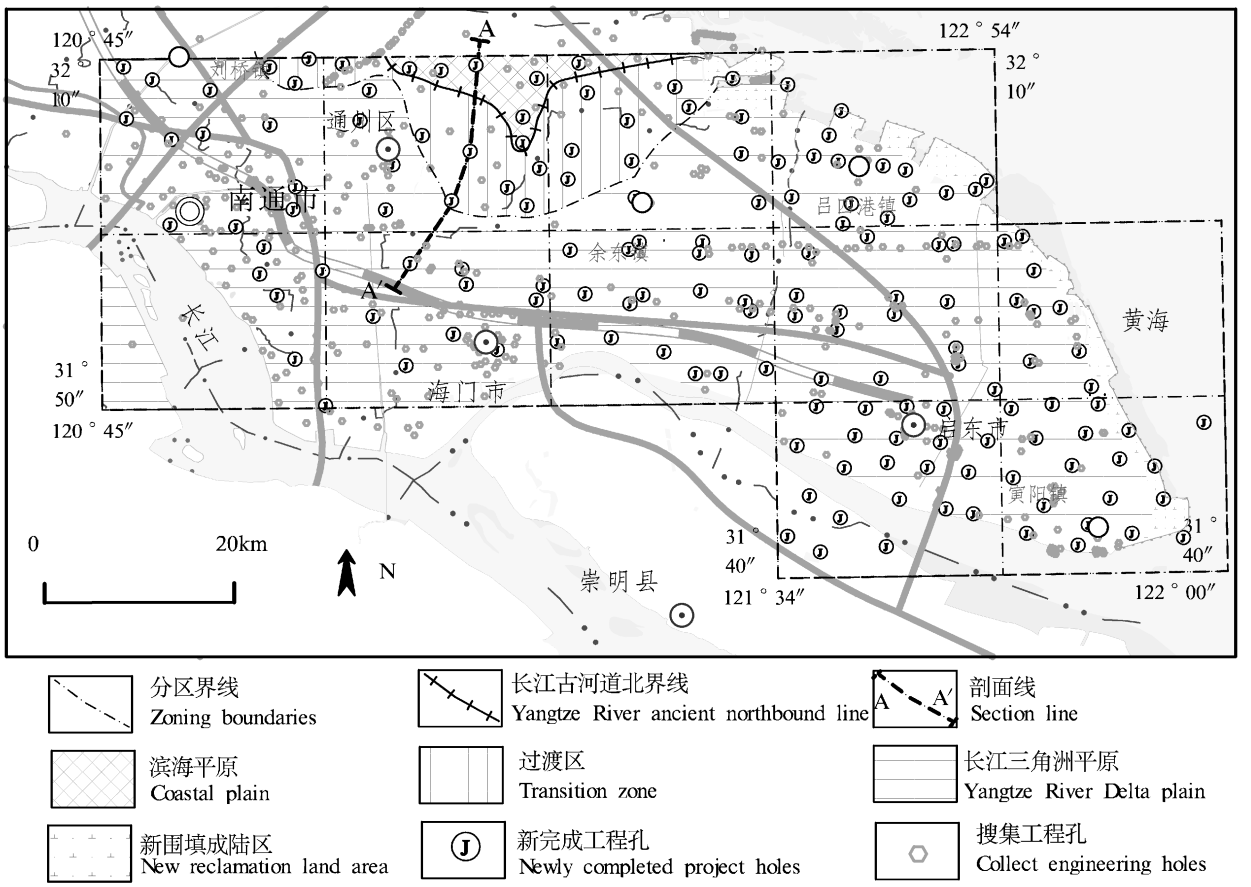


图 1 研究区位置及钻孔平面分布图

Fig. 1 Location and drilled horizontal distribution in the study area

度测试结果、含水量 W、天然孔隙比 e_0、液限 W_L、塑限 W_P、液性指数 I_L、塑性指数 I_P 等。力学指标包括：压缩系数 $a_{1\text{-}2}$、标贯击数 N，抗剪指标，静力触探试验结果等。

1.2 划分方法

首先根据土层的沉积时代确定工程地质层组，相当于对与工程建设相关土层的一级划分。把研究区 100m 以浅土层划分为 7 工程地质层组，以罗马数字“Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ表示（表 1）。其中Ⅰ代表的土体工程层组为现代人类活动的浅表层土层，比如耕作土、吹填土等。Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ分别代表的土体工程层组为全新统如东组上段、中段和下段土层。Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ分别代表的土体工程层组为上更新统滆湖组上段、中段和下段土层。

再根据土体成因类型、土体物质组成和其力学性质进一步划分，相于与对一级划分的进一步细化。对于第Ⅰ工程地质层组，对应的各层可以编写为代码串“1-1，1-2，1-3，…”表示；其他层组及层的表示依次类推。本文第Ⅱ工程地质层组对应全新世晚期形成的土层。其它工程地质层组以此类推。代码串可以简单明了的表达工程地质层序信息，符合一般的工程地质学的思维方法。透过代码串可以直观的了解各层组土层的沉积时代（见表 1）。

每一工程地质层工程特性与其上覆和下伏层工程特性明显不同，这样各工程地质层表现出的工程特性会出现很多空间组合，所以土体作为地基，其空间工程地质特性多变。土体工程地质层序建立后，有助于查明地质结构的空间组合关系，准确定位工程地质关键层，为今后工程建设提供基本的地质保障，特别是为城市规划和建设项目选址论证提供了科学依据；也利于研究区内工程地质资料的交流和资料的社会化利用，也可以在宏观上指导各类工程的岩土勘察工作。

要对研究区 100m 以浅土体进行工程地质层序

划分，首先要研究区内土体沉积演化过程。

2　研究区第四纪沉积环境的演化分析

研究区在地势上表现为由西向东微微倾斜，西北部略高，地面标高 4.0～6.0 m；东南部较低，地面标高 2.0～4.0 m。见临江而立的残丘，海拔高度一般小于 100 m（张登明，2003）。

通过查阅大量有关南通地区第四纪沉积环境演化相关资料，研究区内第四纪地层自下至上经历了 5（Ⅰ～Ⅴ）次海侵。分析结果显示研究区地表以浅 100 m 地层沉积受控于第Ⅳ次和第Ⅴ次大范围海侵（缪卫东等，2009；Fralick et al.，1997）。更新世第Ⅳ海侵发生在距今 23～55 ka，对应大理冰期（玉木冰期）的渐暖期，对应地层为晚更新世上段滆湖组 $Q_p g$；第Ⅴ海侵发生在全新统，冰后期，对应地层单元为全新统如东组 $Q_h r$。其中以全新世三角洲发育最为完整（王靖泰等，1981）。

晚更新世中后期（$Q_p g^1$）进入了寒冷的玉木冰期（冯小铭等，1990），海水退出研究区，气温再度下降，气候转冷。由于气候变冷，长江水系流量、水动力、泥沙含量、流域植被等的改变，致使三角洲地区的长江进入一个缓慢堆积时期。此时海面逐渐下降，流水侵蚀能力加剧，长江又一次进入以侵蚀为主的发育阶段。本期内沉积相为河流相，对应第Ⅶ工程地质层组。

晚更新世晚期的后期（$Q_p g^2$）进入了温暖湿润的玉木亚间冰期。本区沉积了由粗砂砾—细砂的海侵河床充填层序。由于河流对三角洲前缘层序进行了改造，以至于三角洲前缘层序被主河道流经的地区侵蚀殆尽，只保留河床充填沉积。本期内沉积相为海侵河流相，对应第Ⅵ工程地质层组。

晚更新世末期（$Q_p g^3$），全球进入玉木晚冰期。极速的海退导致长江古河道狭窄，河流下蚀作用强烈。长江古河道由于河流的强烈侵蚀，缺失晚更新世晚期晚时沉积。在 13～11 ka BP，在古河道北侧形成了古河间地古土壤层，为第一硬土层（5-1 层），在图 1 滨海平原区分布（见图 3 和图 4d），该土层含有较多的铁锰质和钙质结核（朱滋清等，1997）。本期内沉积相为河流—漫滩相，对应第Ⅴ工程地质层组。

全新统如东组 $Q_h r^1$：玉木晚冰期低海面之后，海面迅速回升，此时研究区被玉木晚冰期侵蚀下切达 60 余 m 的古河道受到海侵河床回水影响，沉积了前三角洲相灰褐色淤泥质粉质粘土（阎长虹等，2015；吴燕开等，2004）及底部的含砾细砂层。本期对应第Ⅳ工程地质层组。

全新统如东组 $Q_h r^2$：到了距今 6000 年前后，海平面有所下降，在灰褐色淤泥质粉质粘土之上沉积了分流河道砂或沼泽相淤泥质粉质粘土。距今 5 ka 左右，海平面上升，长江三角洲开始发育起来，沉积 10～20 m 厚的粉质粘土夹纹层状粉砂。在距今 4.5～4.0 ka，3.8～3.1 ka 两次小范围海侵，使得三角洲前缘环境转为前三角洲—浅海环境（刘志斌等，2014）。三角洲前缘河口砂坝剖面结构表现为

表 1 工程地质层序说明表

Table 1 The sequence table of engineering geology

地质年代		工程地质层组	层号	岩土名称	状态	厚度平均值（m）	层顶埋深平均值（m）	成因类型
组	段							
	/	Ⅰ	1-1	耕填土	/	0.65	0.00	人工
如东组 Qhr	上段	Ⅱ	2-1	灰黄色粉土	稍密	1.92	0.60	河漫滩
	中段	Ⅲ	3-1	淤泥质粉质粘土	流塑	2.88	2.90	三角洲平原沉积体系
			3-2	灰色粉土，或互层土	稍密	5.21	2.81	
			3-3	灰色粉砂	稍密	6.87	7.58	
			3-4	灰色粉砂	中密	10.32	13.21	
			3-5	灰色粉质粘土夹粉砂	/	6.63	19.70	
			3-6	灰色粉土	中密	5.57	23.45	
	下段	Ⅳ	4-1	淤泥质粘土夹薄层粉砂	流塑	13.08	25.67	前三角洲
			4-2	灰色粉砂夹粉质粘土	稍密～中密	8.54	31.12	滨海—浅海
			4-3	灰色粉土	中密	10.17	34.24	
			4-4	灰色粉质粘土夹粉土	/	8.74	41.49	
			4-5	灰色粉砂	中密	9.05	50.33	
滆湖组 Qpg	上段	Ⅴ	5-1	褐黄色粉质粘土	可塑～硬塑	4.00	36.78	河漫滩
	中段	Ⅵ	6-1	褐黄色—灰色粉质粘土	软塑～可塑	5.11	42.77	河漫滩
			6-2	灰色粉砂、细砂	密实	12.21	55.52	河床相
			6-3	灰黄色粗砂	密实	12.18	69.95	
			6-4	灰色粉砂	密实	12.80	78.34	
	下段	Ⅶ	7-1	灰褐色粉质粘土	可塑	8.11	76.09	河漫滩
			7-2	灰色粉砂、细砂	密实	/	81.29	河床相
			7-3	灰黄色粗砂	密实	/	/	

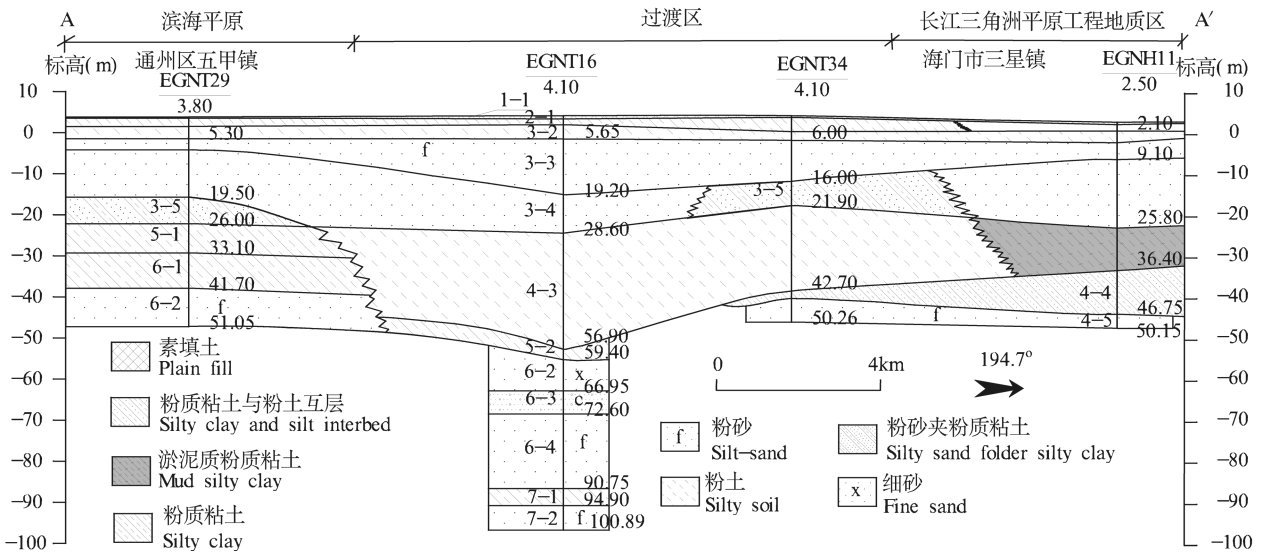


图 2 工程地质剖面图

Fig. 2 Engineering geological sectional drawing

向上变粗层序,与下伏前三角洲沉积层及上覆三角洲平原沉积层,均呈渐变关系。本期对应第Ⅲ工程地质层组。

全新统如东组 $Q_h r^3$:2.5~1.0 ka BP 海平面上升,形成前三角洲—浅海环境;最后一次海平面上升,发生在距今 700~400a,使得长江北岸坍塌和原有的砂坝受到一定程度的改造(冯小铭等,1990)。随着三角洲延展,南通县河口砂坝北汊道淤塞,距今 1000 a 左右,南通县砂坝并入北岸,成为滨海平原的一部分(图 1)。本期对应第Ⅱ工程地质层组。

人工活动的表层填土为第Ⅰ工程地质层组。

3 研究区土体工程地质层组划分

3.1 工程地质层组划分

研究区广泛分布厚度超过 200m 的第四系松散土层,主要的土体类型有粉质粘土、粉土、互层土、淤泥质土、粉砂、细砂、中砂、粗砂、砾砂等。100m 以浅的地层工程勘察编录资料一般超过 60 层,需要根据各层沉积结构和物理力学性质对某些次要层进行归纳合并。首先根据土层沉积时代把研究区 100m 以浅的各土层划分为Ⅰ~Ⅶ共 7 个大的工程地质层组;再以土层结构和岩体物理力学性质等定量指标把 7 个工程地质层组划分为 21 个工程地质层(见表 1,图 2)。

3.2 层组划分合理性分析

主要从以下 2 个方面来分析层组划分的合理性。

3.2.1 各层物理力学指标统计结果的合理性分析

可以借助 EXCEL、理正、华宁或开发的城市信息系统等软件,对各工程地质层土体的主要物理力学指标进行了统计分析,按照(常士骠,2005;GB50021-1994 版)的规定,各工程地质层土体物理力学指标的变异系数要满足一定标准。变异系数是国际上通用的一个指标,反应各指标的离散程度。Ingles 给出了各层土物理力学指标变异系数的建议标准值:力学指标内摩擦角为 0.10,粘聚力为 0.3,无侧限抗压强度为 0.40,压缩模量为 0.3;物理指标重度为 0.03,液限和塑限为 0.1,孔隙比和粘粒含量为 0.25。Meyerhof 给出了变异性等级划分方案,变异系数小于 0.1 等级为很低,变异系数介于 0.1~0.2 等级为低,变异系数介于 0.2~0.3 等级为中等,变异系数介于 0.3~0.4 等级为高,变异系数大于 0.4 等级为很高(林宗元,1996)。基于数据的统计分析,本文划分的工程地质层组中的各层物理力学指标一般均满足 Ingles 给出的建议标准值。力学指标一般较物理指标变异系数高,说明力学指标一般为相关型,力学指标随深度呈有规律的变化。同时也说明本文的工程地质层组划分结果是合理的。

3.2.2 三维地质模型构建的合理性

通过构建全区 6 横 13 纵的工程地质剖面,利用城市地质信息系统的三维建模功能,通过三维剖面

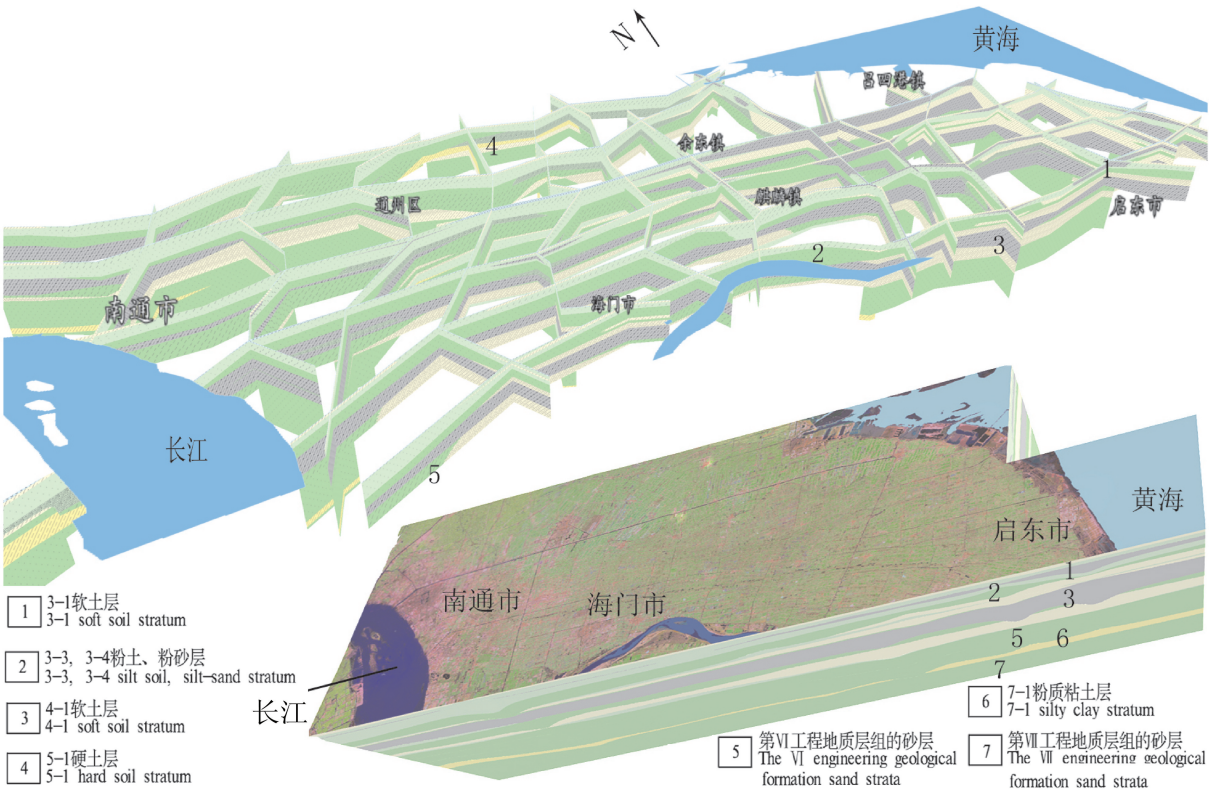


图 3 三维地质模型

Fig. 3 3D geological model

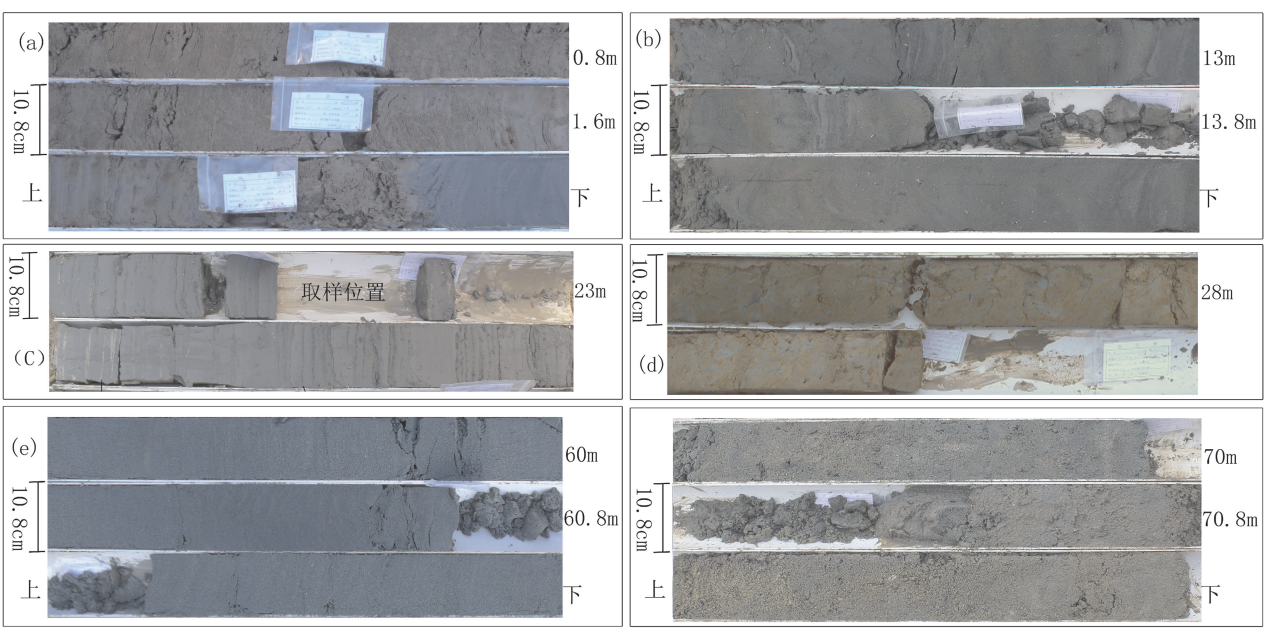


图 4 关键层岩芯照片

Fig. 4 The photos of key strata

(a) 2-1 优势持力层,粉质粘土夹粉土;(b) 3-4 优势持力层,中密粉砂;(c) 4-1 软弱敏感层,淤泥质粉质粘土;(d) 5-1 第一硬土层,粉质粘土;(e) 6-2 优势持力层,密实细砂;(f) 6-3 优势持力层,密实粗砂

(a) 2-1 hold power preferred stratum, silty clay was interleaved with silt; (b) 3-4 hold power preferred stratum, moderate silt—sand; (c) 4-1 Weak sensitive stratum, muddy silty clay; (d) 5-1 the first hard soil stratum, silty clay; (e) 6-2 hold power preferred stratum, thick fine sand; (f) 6-3 hold power preferred stratum, thick coarse sand

导入和编辑,建立起研究区的工程地质栅格图。通过 698 个标准孔利用城市信息系统平台建立起研究区的三维地质模型。三维地质模型可以对各土层进行立体展示,以及对模型的任意剖切,方便分析评价(张宝一等,2017)。通过三维模型和剖面图可以看出各地层之间连接平滑,各工程地质层之间的沉积接触关系合理,说明工程地质层组划分方法及划分结果是合理的。

通过构建的三维地质模型可以直观的找出优势持力层(图 3 绿色部分)和软弱敏感层(图 3 灰色部分),下面就着重分析两类关键层的工程地质特性。

4 持力优势层工程地质条件分析

根据深度可分为浅部天然地基持力层、桩基持力层。天然地基涉及深度一般为 5m 以浅的土层,5m 以下可归到深基础。长桩、短桩的分类采用长细比来划分,长细比即桩长与桩径的比值。

4.1 浅部天然地基持力层

基础工程设计时,在条件允许的情况下,应首先考虑采用天然地基。工作区内一般 6 层以下的普通住宅多采用天然地基。可以采用天然硬壳层 2-1 层(灰黄色粉质粘土夹粉土层,图 4a)作为地基持力层,该层埋深浅,层厚稳定,推荐地基承载力特征值为 100 kPa(表 2)。若 2-1 层下伏为 3-2 层粉土(粉砂)层,可与表土层联合作为天然地基持力层,天然地基条件良好;若 2-1 层下伏为 3-1 层(软土层)软弱敏感层,则需要验算地基稳定性。

4.2 浅部桩基持力层

一般基础埋深 5m 以内的为浅基础,5m 以外的为深基础。全区可作为良好的桩基础持力层的土层,首选 3-4 层中密—密实粉砂层(图 4b),该层顶板埋深约 13m,平均厚度 10m,层厚稳定,桩侧摩阻力特征值为 50 kPa,桩端土承载力特征值为 2400 kPa(与埋深有关,深度越大,承载力越大)。若 3-4 层下伏 3-5 层中高压缩性土层时,建议采用复合地基方案。复合地基承载力特征值应通过现场静载试验确定。

4.3 深部桩基持力层

大型工程桩基具有成桩直径大、埋深大的特点。桩长超过 50 m 的基桩为超长桩(邓友生等,2008)。6-2 层(图 4d)顶板埋深约 55.52m,平均厚度 12.21m,层厚稳定,桩侧摩阻力特征值为 100kPa,桩端土承载力特征值为 7800kPa。6-3 层(图 4f)顶板埋深约 69.95m,平均厚度 12.18m,层厚稳定,桩侧摩阻力特征值为 120 kPa,桩端土承载力特征值为 11000kPa。这两个优势层适合一般大型工程桩基持力层的条件。启东市博圣广场环球大厦主楼部分为 39 层框筒结构,采用直径 1000mm 的钢筋砼灌注桩,预估单桩极限承载力为 13600kN,预设方案基桩入土深度为 63~77m,6-2 层粉砂、细砂层和 6-3 层粗砂可做为超长桩的桩基持力层,经验算,桩基竖向承载力和沉降验算满足设计要求。超大型工程如苏通大桥基桩入土深度为 120m,桩径 2.5~3.0m。据邓友生等对苏通大桥主塔超大群桩集装沉降特性的研究,一般选用 7-3 层粗砂层作为桩基持力层,通过不同方法计算桩基沉降量,并与实测数据进行比对,桩基竖向承载力和沉降满足设计要求。

5 软弱敏感层工程地质问题分析

软弱敏感层为力学性质差和厚度分布稳定的土层。软弱敏感层对基础稳定性和变形均起着控制性作用。研究区在垂直方向分布两层软土层,分别为

表 2 优势层力学参数推荐表

Table 2 Mechanical parameters recommended list of preferred strata

	层号	推荐值					桩参数推荐值	
		压缩模量 E_{s1-2} (MPa)	标贯击数 N	锥尖阻力 q_c (MPa)	侧摩阻力 f_s (kPa)	地基承载力 f_{ak} (kPa)	桩侧摩阻力特征值 q_{si}(kPa)	桩端土承载力特征值 q_{pk}(kPa)
软弱敏感层	3-1	2.86	3.2	0.35	14.3	60	14	/
	4-1	3.47	5	0.9	15	/	33	/
持力优势层	2-1	6.69	5.6	1.36	/	100	30	/
	3-4	10.16	20.4	6.18	56.4	/	50	2300
	6-2	13.41	41.2	11.06	139.5	/	100	7800
	6-3	17.42	69.6	/	/	/	120	11000

3-1 淤泥质粉质粘土层和 4-1 层淤泥质粉质粘土层。

3-1 层淤泥质粉质粘土埋深浅，力学性质差的特点。压缩模量均值为 2.86MPa，为高压缩性土层。土体物理指标含水率均值为 40.79，大于液限均值 36.00；孔隙比均值为 1.15；塑性指数均值为 15.1；液性指数均值为 1.31。据粒度试验分析可知软土粘粒均值含量为 26.29%，粉粒含量均值为 79.14%，砂粒含量均值为 3.57%。三轴 UU 试验测得的内聚力 C_{uu} 均值为 19.58，φ_{uu} 均值为 1.95°。对 1~2 层民房基本满足地基承载力的要求，3 层以上民房建设不宜采用该层土作为天然地基。

4-1 层淤泥质粉质粘土（图 4c）顶板埋深约 25.67m，平均厚度13.08 m，层厚稳定。压缩模量均值为3.47 MPa，为高压缩性土层。土体含水率均值为 39.51，大于液限均值 35.90；孔隙比均值为 1.135；塑性指数均值为 15.1；液性指数均值为 1.24。4-1 层淤泥质粉质粘土埋深大，对小型工程建设影响较小。对于大型工程，若采用大直径超长桩穿过 4-1 层时，由于土层沉降速率大于桩的沉降速率，会产生桩基负摩阻力（袁灯平等，2006；马时冬等，1977），4-1 层软土会对桩基产生一个竖直向下的下拉荷载，可按照（JGJ94- 2008）计算桩侧负摩阻力；桩端取 6-2 层或 6-3 层砂层作为桩基持力层。软土层厚取 4-1 层平均值 13m，软土埋深范围介于 20~33m，则桩周软弱土层下限深度 L_0 为 33m，中性点深度为 0.8 倍的 L_0，计算结果为 26.4m，则说明 20~26.4m 的软土层对桩基产生一个竖直向下的下拉荷载。采用桩基直径为 1000mm，则预估下拉荷载大小约为 663KN。由于大直径超长桩承担的桩顶荷载大部分由桩身侧摩阻力提供，4-1 层软土必定弱化了桩基础的承载能力。

6　结论

（1）过查阅大量有关南通地区第四纪沉积环境演化相关资料，分析了研究区 100m 以浅的第四纪沉积环境演化过程，将研究区 100m 以浅的各土体划分为 7 个工程地质层组。再根据土体的沉积结构和土体的物理力学性质将 7 个工程地质层组划分为 21 层。

（2）采用物理力学参数离散性、地质剖面和三维地质模型分析了工程地质层组划分的合理性，说明本文的工程层划分结构合理正确。

（3）通过工程地质层组的划分及建立的三维地质模型，找出了研究区 2 个软弱敏感层和 4 个持力优势层。软弱敏感层对基础稳定性和变形均起着控制性作用，第一个软弱敏感层 3-1 淤泥质粉质粘土埋深浅，存在诱发天然地基稳定性问题，需要进行稳定性验算，第二个软弱敏感层 4-1 软土会对桩基产生一个竖直向下的下拉荷载，4-1 层软土必定会弱化桩基础的承载能力。第一个优势持力层 2-1 层可作为 6 层以下民房天然地基，第二个优势持力层 3-4 层可作为浅部桩基持力层，第三个优势持力层和第四个优势持力层可作为深部桩基持力层。

（4）建立了长江三角洲北岸 100m 以浅工程地质层序，并准确定位工程地质关键层，为今后工程建设提供基本的地质保障，特别是为城市规划和建设项目选址论证提供了科学依据；有利于研究区内工程地质资料的交流和资料的社会化利用，也可以在宏观上指导各类工程的工程勘察工作。

致谢：阎长虹教授审阅文稿并提出了宝贵的修改意见，使本文得到了完善和提高，在此表示感谢！

注　释　/　Notes

❶ 张登明. 2003. 南通市幅区域地质调查报告（1：250000）. 南京：江苏省地质调查研究院.

❷ 缪卫东. 2009. 南通市幅（I51E024004）、南通县幅（I51E024005）、小海镇幅（H51E001004）、海门市幅（H51E001005）区域地质调查报告（1/50000）. 南京：江苏省地质调查研究院.

参　考　文　献　/　References

（The literature whose publishing year followed by a "&" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "#" is in Chinese without English abstract）

常士骠. 2005. 工程地质手册. 中国建筑工业出版社.

邓友生，龚维明. 2008. 苏通大桥主塔超大群桩基础沉降特性研究. 武汉理工大学学报，30(7)：66~70.

冯小铭，韩子章，方家骅，孙九奎. 1990. 南通市第四纪沉积特征及沉积相研究报告. 中国地质科学院南京地质矿产研究所所刊，(suppl. 8)：75~143.

侯晓亮，赵晓豹，李晓昭，李家奇.2011.南京河西地区软土地层特征及工程特性研究.地质论评，57(4)：600~608

蒋建平，高广运，罗国煜. 2002. 苏通大桥超长灌注桩基持力层分析. 土工基础，16(4)：43~45.

蒋建平.2002.水下大直径超长桩理论分析与工程应用.南京大学出版社.

李晓昭，罗国煜，龚洪祥，严三保，张迪. 2004. 土体工程地质层组的划分. 岩土力学，25(5) 759~763.

林宗元. 1996. 岩土工程勘察设计手册. 沈阳：辽宁科学技术出版社，712~713.

刘军熙，阎长虹，许宝田. 2005. 苏通大桥地基中敏感优势层工程地质问题分析. 地质论评，51(6)：719~723.

刘志彬，刘松玉，周伯明，经绯，姬付全. 2014. 长江口海陆交互相沉积土成因及其空间特征. 地下空间与工程学报，10(1)：102~108.

罗国煜. 1992. 区域稳定性优势面分析理论与方法. 岩土工程学报，

14(6):10~18.
罗国煜. 1993. 岩坡优势面分析及其专家系统研究. 科学通报, 38(21):1979~1982.
马时冬. 1997. 桩身负摩阻力的现场测试与研究. 岩土力学, 18(1): 8~15.
孙顺才. 1981. 长江三角洲全新世沉积特征.海洋学报, 3(1) : 97~113.
汪明武,罗国煜,章杨松.2000.区域稳定性智能评价与控制系统的研究.地质论评,46(supp):212~217
王靖泰, 郭蓄民, 许世远, 李萍, 李从先.1981. 全新世长江三角洲的发育, 地质学报, (1) : 67~81.
吴燕开, 刘松玉, 洪振舜. 2004. 土层工程性质与其沉积环境关系分析研究, 工程地质学报, 12(03): 263~268.
闫怀瑞,阎长虹,丁倩文.2015.深厚软土地区基坑开挖主要工程地质问题与对策.地质论评,61(1):149~154
严学新, 史玉金. 2006. 上海市工程地质结构特征. 上海地质, (4): 19~ 24.
阎长虹, 吴焕然, 许宝田, 许崧, 郑军, 燕晓莹. 2015. 不同成因软土工程地质特性研究—— 以连云港、南京、吴江、盱眙等地四种典型软土为例. 地质论评, 61(3): 561~569.
袁灯平, 黄宏伟, 程泽坤. 2006. 软土地基桩侧负摩阻力研究进展初探. 土木工程学报, 39(2):53~60.
张宝一, 代鹏遥, 蒙菲, 王丽芳, 吴湘滨. 2017. 基于距离场的三维矿体模型与地表化探数据的关联关系分析—— 以红透山铜矿田为例. 地质论评, 63(2): 511~524.
中华人民共和国建设部. 2008. 建筑桩基技术规范(JGJ 94- 2008)[S]. 中国建筑工业出版社.
中华人民共和国建设部. 2011. 建筑地基基础设计规范(GB 50007-2011)[S]. 中国建筑工业出版社.
中华人民共和国住房和城乡建设部. 1994. 岩土工程勘察规范(GB50021-1994)[S]. 中国建筑工业出版社.
朱向荣, 方鹏飞, 黄洪勉. 2003. 深厚软基超长桩工程性状试验研究. 岩土工程学报, 25(1):79~81.
朱滋清, 王翔. 1997. 上海地区第⑥层暗绿色硬土层成因的探讨. 上海地质, 63(3):6~9.
Chang Shibiao. 2005#. Manual of engineering geology. Chinese Building Industry Press
Deng Yousheng, Gong Weiming. 2008&. Research on settlement of extra-long large diameter pile groups under main tower of Sutong Yangtze River highway bridges. Journal of Wuhan University of Technology, 30(7):66~70.
Fralick P W, Kronberg B I. 1997. Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. Sedimentary Geology, 113: 111~ 124.
Hou Xiaoliang, Zhao Xiaobao, Li Xiaozhao, Li Jiaqi. 2011&. Research on engineering properties of flood plain soft soil in Hexi area, Nanjing, Geological Review, 57(4):600~608.
Jiang Jianping, Gao Guangyun, Luo Guoyu. 2002&. Analysis of bearing layer for piles in Suzhou—Nantong highway bridge. Soil Eng. And Foundation, 16 (4): 43~45.
Jiang Jianping. 2002#. Theory study and engineering application of large dimeter and super-long pile under water. Nanjing University Publishing House.
Li Xiaozhao, Luo Guoyu, Gong Hongxiang, Yan Sanbao, ZHANG Di. 2004&.The division of engineering geological strata groups of soil mass. Rock and Soil Mechanics, 25(5) : 759~763.
Liu Junxi, Yan Changhong, Xu Baotian. 2005&. Analysis of engineering geology problem of sensitive preferred stratum for the foundation of Suzhou— Nantong bridge. Geological Review, 51(6):719~723.
Liu Zhibin, Liu Songyu, Zhou Boming, Jing Fei, Ji Fuquan. 2014&. Geological genesis and spatial variability characteristic of the interactive marine and terrestrial soft deposit in Yangtze River Estuary. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 10(1): 102~108.
Luo Guoyu. 1993&. Analysis of preferred plane and expert system of rock slope. Chinese Science Bulletin, 38(21): 1979~1982.
Luo Guoyu.1992&. Analysis of regional stability by theory of preferred plane. Chinese Journal of Geotechnical Engineering,14(16):10~18.
MA Shidong. 1997&. Study on the field measurement of negative friction of piles. Rock and Soil Mechanics, 1997, 18(1): 8~ 15.
Ministry of Urban and Rural Construction of People's Republic of China. 1994 #. Code for investigation of geotechnical engineering (GB50021- 1944)[S]. China Architecture and Building Press.
Ministry of Urban and Rural Construction of People's Republic of China. 2011#. Code for design of building foundation (GB 50007-2011)[S]. China Architecture and Building Press.
Ministry ofUrban and Rural Construction of People's Republic of China. 2008#. Technical code for building pile foundations (JGJ 94- 2008)[S]. China Architecture and Building Press.
Sun Shuncai. 1981&. Delta sediments of the Yangtze delta and its characteristics.Acta Oceanologica Sinica, 3(1) : 97~113.
Wang Jingtai, Guo Xumin, Xu Shiyuan, Li Ping, Li Congxian.1981&. Evolution of the holocene changing delta. Acta Geologica Sinica, (1): 67~ 81.
Wang Mingwu, Luo Guoyu, Zhang Yangsong. 2000&. Application of mapgis in establish databases of geological maps. Geological Review, 46(supp):212~217.
Wu Yankai, Liu Songyu, Hong Zhenshun. 2004&. The relationship between the geotechnical properties and the deposited environment for the soil. Journal of Engineering Geology, 12(03): 263 ~268.
Yan Changhong, Wu Huanran, Xu Baotian, Zheng Jun, YAN Xiaoying. 2015&. Engineering geological properties of different sedimentary types of soft soils in eastern China—— take the 4 typical types of soft soil in Lianyungang, Nanjing, Wujiang and Xuyi area as examples. Geological Review, 61(3): 561~569.
Yan Huairui, Yan Changhong, Ding Wenqian.2014&.The Research of main engineering geological problems and prevention measures in the pit construction of soft soil areas, Geological Review, 61(1):149~154.
Yan Xuexin, Shi Yujing. 2006&. Structure characteristic of engineering geology in Shanghai. Shanghai Geology, (4): 19~ 24.
Yuan Dengping, Huang Hongwei, Cheng Zekun. 2006&. Research progress of negative skin friction on piles in soft soil. China Civil Engineering Journal, 39(2):53~ 60.
Zhang Baoyi, Dai Pengyao, Meng Fei, Wang Lifang, Wu Xiangbin. 2017&. Weighted shortest distance field based relation analysis between 3d ore body model and geochemical survey data on the ground surface—— a case study in the Hongtoushan Copper. Geological Review, 63(2):511~524.
Zhu Xiangrong, Fang Pengfei , Huang Hongmian. 2003&. Research on super-long pile in soft clay. Chinese J. Geot. Eng, 25(1): 76~79.
Zhu Ziqing, Wang Xiang. 1997&. Preliminary studies on the origin of the 6th dargreen stiff clay layer in Shanghai area. Shanghai Geology, 63(3):6~9.

The Division and Application of Engineering Geological Strata Groups of Soil Mass in North Shore of the Yangtze Delta

GOU Fugang[1, 2)], GONG Xulong[1, 2)], MEI Qinqin[1, 2)]

1) *Geological Survey of Jiangsu Province*, *Nanjing*, 210049

2) *Key Laboratory of Earth Fissures Geological Disaster*, *Ministry of Land and Resources*, *Nanjing*, 210049

Abstract: Seeing the disorder of the division standards of engineering geological strata, this situation is not conducive to the communication and socialization of engineering geological data. In order to improve the universal of engineering geological data, taking the engineering geological 100m strata as the object combined with 11 a 1∶50000 standard sheet engineering geological survey work in the study area. Considering sedimentary age, sedimentary environment, soil structure characteristics and physical and mechanical parameters, the engineering geological 100m strata were divided into 7 engineering geology strata and 21 layers, and were given the basic sequence stratigraphic structure and coding. Through the establishment of engineering geological layer group, the corresponding relationship is found out between drilling and soil layer of large area engineering. It makes the contrast analysis of regional stratigraphic data potentially. It helps to geological model of generalized and seizes the engineering geological problems. It analysed the group rationality of engineering geological layer through parameters of the discrete analysis, geological profile drawing and the establishment of three-dimensional model. It is confirmed that the result of layer group division is reasonable and correct. Through the establishment of the engineering geological strata groups, it found out the two sensitive preferred strata and four dominant bearing strata. The results has a certain guiding significance to engineering investigation, urban planning and construction project location demonstration in the north of the Yangtze river delta region.

Keywords: Engineering geology stratum groups of soil mass; Regional engineering geology; Sedimentary evolution; Sensitive preferred strata; Hold power preferred strata

Acknowledgements: This paper was supported by China Geological Survey (No. 1212011220005) and Project of Jiangsu Provincial People's Government (Comprehensive geological survey in Jiangsu coastal area).

First author: GOU Fugang, male, born in 1985. Engineer. Mainly engaged in the regional engineering geology study. Email: gfggfg@foxmail.com

Manuscript received on: 2017-03-27; Accepted on: 2017-12-06; Edited by: ZHANG Yuxu

Doi: 10.16509/j.georeview.2018.01.018